

**PATOLOGIAS NOS PILARES DE CONCRETO DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL INTERROMPIDA: um estudo de caso na cidade de Varginha, MG**

Alexandre Vazze¹

Laísa Cristina Carvalho²

RESUMO

O concreto armado, conforme outros materiais, está sujeito aos processos de envelhecimento e de deterioração resultantes de sua utilização e de sua interação com os agentes do ambiente. Falhas de projeto, executivas e nos materiais constituintes do concreto tem potencial para originar manifestações patológicas de modo a comprometer a resistência, o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto. Esse artigo resultou de um estudo de caso a respeito das manifestações patológicas ocorridas nos pilares de concreto de uma edificação residencial interrompida, há mais de 20 anos, localizada na cidade de Varginha, MG. O estudo teve por objetivo avaliar as manifestações patológicas nos pilares da edificação para a elaboração de um diagnóstico preliminar da situação. Para tal, foi realizada pesquisa bibliográfica acerca dos estudos, das normas e dos procedimentos de investigação e diagnóstico em estruturas de concreto armado. Com uma vista in loco, foram levantadas informações por inspeção visual e foi aplicado o ensaio de carbonatação do concreto com solução de fenolftaleína a 1,0%. Foi constatado, nos pilares mais danificados, o cobrimento insuficiente das armaduras, a presença de pequenos nichos de concretagem e a corrosão generalizada das armaduras decorrente da carbonatação do concreto. Verificou-se a necessidade da aplicação de outros ensaios nos pilares da edificação para a elaboração de diagnóstico mais rigoroso e definição do plano de intervenção.

Palavras-chave: Patologias; concreto armado; ensaios não destrutivos.

¹ Graduando em Engenharia Civil (UNIS, 2023), Física Licenciatura (UNIS, 2020), Administração Bacharelado (UNIS, 2011), Mestrado em Administração (Faceca, 2005).

² Professora Dra. Laísa Cristina Carvalho, engenheira civil graduada (UFMG, 2013), Mestrado em Estruturas e Construção Civil (UFSCAR, 2016), Doutorado em Estruturas e Construção Civil (UFSCAR, 2020).

1 INTRODUÇÃO

Apesar de o concreto armado apresentar resistência e rigidez elevadas ele também está sujeito ao desgaste devido ao uso e ao envelhecimento decorrentes de sua interação com os agentes agressivos do meio ambiente (FILHO, HELENE, 2011).

Segundo Souza e Ripper (1998), o concreto armado de uma edificação pode apresentar problemas patológicos capazes de comprometer a sua resistência e o seu desempenho estrutural com a redução da vida útil da construção.

Os pilares de uma edificação, elementos estruturais responsáveis por receber e transferir as ações da estrutura para a fundação, podem apresentar patologias capazes de provocar a sua deterioração comprometendo a segurança e o desempenho da edificação.

O estudo de patologias em estruturas de concreto consiste na abordagem científica do fenômeno com a finalidade de identificar a origem do problema patológico, suas manifestações, consequências, ações corretivas e medidas de prevenção. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Dependendo do grau de comprometimento do pilar acometido por uma patologia, a redução na sua capacidade de carga pode levá-lo ao colapso e provocar a ruína da edificação resultando em acidente com danos às vidas de pessoas e prejuízo financeiro.

Em uma obra interrompida e inacabada a deterioração dos materiais construtivos ocorre em ritmo mais acelerado, pois na ausência de revestimento, de pintura e de ações de manutenção, é maior o grau de exposição dos materiais dos elementos estruturais da edificação à ação dos agentes agressivos do meio ambiente (TRINDADE, 2015).

Esse trabalho teve por objetivo investigar as patologias ocorridas nos pilares de uma edificação residencial inacabada e não habitada, que se encontra na cidade de Varginha, MG.

A investigação da deterioração ocorrida nos pilares da edificação foi realizada por meio de visita in loco, para a inspeção visual e aplicação de ensaio não destrutivo de carbonatação do concreto. Com as informações coletadas e o resultado do ensaio foi elaborado o diagnóstico preliminar da patologia ocorrida nos dois pilares da edificação que apresentaram maiores danos estruturais.

2 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO

A palavra *patologia* deriva de duas palavras de origem grega, *pathos* (sofrimento, doença) e *logia* (ciência, estudo). O termo patologia também é utilizado na engenharia civil para designar as manifestações patológicas que acometem as estruturas e edificações provocando desde danos estéticos até o comprometimento do desempenho estrutural que interfere na durabilidade das construções (TRINDADE, 2015).

De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), patologia das construções é uma ciência que procura estudar, de modo sistemático, os problemas patológicos que ocorrem nas construções. A análise rigorosa das manifestações patológicas parte da observação dos sintomas apresentados (fissuras, deformações excessivas, eflorescência, corrosão de armadura e outras), para identificar a origem, compreender o mecanismo de evolução e apontar as causas da patologia instalada na construção

Segundo Romano (2004), o concreto é um material heterogêneo constituído pela mistura de um aglomerante hidráulico (cimento Portland) com água e materiais inertes denominados agregado graúdo (pedra britada) e agregado miúdo (areia natural ou cascalho). O concreto unido ao aço da armadura passiva forma o concreto armado e o concreto combinado ao aço das armaduras, ativa e passiva, constitui o concreto protendido.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023 toda estrutura de concreto deve apresentar requisitos mínimos de qualidade relativos à sua capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade durante a sua vida útil. Esses requisitos dizem respeito à segurança da estrutura em relação à ruptura, à capacidade da estrutura de manter-se em plenas condições de utilização e de resistir às influências de agentes ambientais.

Souza e Ripper (1998), apresentam as principais causas das patologias no concreto armado relacionando-as com as falhas humanas e com a interação do concreto com o ambiente no qual se encontra a edificação. As falhas humanas podem ocorrer na elaboração do projeto, na execução da obra e no uso inadequado da edificação, sem manutenção adequada. A interação do concreto armado com o meio ambiente pode produzir deslocamentos, deformações e fissuração nos elementos estruturais. O concreto armado fissurado e com porosidade acentuada fica exposto ao ataque de agentes deteriorantes do meio ambiente que provocam a sua degradação. O controle da porosidade do concreto é realizado por meio da razão entre as quantidades de água e de cimento (A/C) no seu preparo e

do adequado processo de cura do concreto de modo a impedir a rápida evaporação da água durante a hidratação da pasta de cimento.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, os mecanismos preponderantes de deterioração do concreto armado podem ser relacionados ao concreto e à armadura.

As deteriorações provocadas pela lixiviação, pela expansão por sulfatos ou devido à reação álcali-agregado são atribuídas à porosidade acentuada, ao cobrimento inadequado da armadura e à fissuração do concreto (ABNT NBR 6118:2023).

A lixiviação do concreto resulta da infiltração de água na estrutura de concreto. Águas contaminadas, puras, carbônicas e ácidas que penetram no concreto provocam a dissolução e o carreamento de compostos de hidratação presentes na pasta de cimento, como a portlandita (Ca(OH)_2), enfraquecendo o concreto. Quando a umidade evapora, os cristais de sais transportados para a superfície externa se solidificam formando manchas esbranquiçadas eflorescentes (SOUZA, RIPPER, 1998).

Outra causa de deterioração dos elementos estruturais, relativas ao concreto, é a expansão por sulfatos. Os íons livres sulfato presentes na água de chuva e na umidade retida no solo penetram o concreto e reagem com os compostos de hidratação do cimento, geralmente com o aluminato tricálcico e com o hidróxido de cálcio formando compostos de maior volume que produzem tensões internas de tração no concreto. Essas reações expansivas provocam a fissuração e a disgregação do concreto (TRINDADE, 2015).

A ABNT NBR 6118:2023 menciona ainda o mecanismo de deterioração de elementos estruturais, relativo ao concreto, denominado reação álcali-agregado. Os álcalis, óxidos de sódio e de potássio, são constituintes secundários do concreto que, na presença de umidade, podem reagir com a sílica encontrada nos agregados formando compostos expansivos. Essas reações podem originar tensões internas capazes de fissurar o concreto (SOUZA, RIPPER, 1998).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, os mecanismos preponderantes de deterioração do concreto armado, relativos à armadura, são aqueles que provocam a despassivação por carbonatação e a despassivação pela ação de cloretos.

A despassivação da armadura por carbonatação resulta da reação do gás carbônico com a água, dentro dos poros do concreto, que provoca a redução do pH do concreto. Quando a carbonatação atinge as camadas mais internas do concreto, ao nível da armadura, ocorre a

despassivação da camada de proteção do aço tornando-o mais exposto à corrosão (TRINDADE, 2015).

A despassivação da armadura devido à ação de íons cloreto resulta da reação dos íons cloro com os íons ferro, que na presença de umidade, formam uma pilha eletroquímica. Essa reação é muito agressiva e consome o aço da armadura provocando a redução da seção das barras e o comprometimento da capacidade resistente do elemento estrutural. Os produtos da corrosão, óxi-hidróxidos de ferro, são expansivos e originam tensões internas capazes de fissurar o concreto (FILHO, HELENE, 2011).

A ocorrência de fissuração em estruturas de concreto armado não deve ser negligenciada, pois podem indicar sintomas de patologias instaladas capazes de evoluir para quadros patológicos mais graves com potencial para comprometer a capacidade resistente dos elementos estruturais de concreto armado e a sua durabilidade. As aberturas resultantes das fissuras formam canais pelos quais os agentes agressivos do meio ambiente (água, gases, sulfatos, carbonetos e íons cloreto) podem penetrar o interior do concreto dos elementos estruturais originando novas frentes de ataques. Dependendo da abertura, da extensão e da profundidade do quadro fissuratório, os agentes agressivos do meio ambiente podem atingir a armadura da estrutura de concreto e desencadear o processo de corrosão do aço (FILHO, HELENE, 2011).

2.1 Ensaios não destrutivos para diagnóstico de patologias em estruturas de concreto armado

A inspeção visual é um ensaio simples e geralmente o primeiro ensaio realizado na estrutura e nos materiais da edificação que, a partir de observações e de medições com instrumentos simples, fornece importantes informações para o diagnóstico dos problemas patológicos ocorridos na edificação. Apesar da facilidade e do menor custo, a eficácia dos ensaios por inspeção visual depende da experiência do profissional responsável pela sua execução. No ensaio por inspeção visual, são levantadas informações através da análise dos projetos existentes da edificação e do histórico da obra (MAZER, 2012).

Mazer (2012) define três etapas obrigatórias a serem observadas na resolução de um problema patológico. Essas etapas consistem em levantar e organizar as informações relevantes para a compreensão dos fenômenos. Em seguida, determinar as causas das

manifestações patológicas com as possíveis consequências para a edificação e, por fim, definir a conduta de intervenção para solucionar o problema.

O diagnóstico de patologias em estruturas de concreto é uma tarefa complexa que envolve a perícia do profissional responsável pela elaboração do laudo técnico associada à realização de ensaios, in loco e em laboratório (SOUZA, RIPPER, 1998).

Lorenzi et al. (2017) recomendam a utilização de ensaios do tipo não destrutivo para auxiliar na avaliação de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado em edificações já existentes. Os ensaios não destrutivos preservam a integridade da estrutura por não utilizarem de amostras, denominadas testemunhos, extraídas de elementos acometidos por patologias.

Alguns dos principais e mais utilizados ensaios não destrutivos, quando empregados corretamente na análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto, fornecem informações importantes que subsidiam na elaboração do diagnóstico do problema patológico.

No ensaio de pacometria, é utilizado um aparelho (pacômetro) que através de um campo magnético de indução localiza a posição das armaduras nos elementos estruturais, estima as dimensões das barras de aço das armaduras e afere a espessura da camada de cobertura das armaduras. É um ensaio que precede a realização de outros ensaios, como o esclerométrico, o de ultrassom e o de extração de testemunhos (HELENE, et al., 2018).

No ensaio esclerométrico de reflexão, um martelo impulsionado por uma mola é disparado contra a superfície dos elementos de concreto para avaliar a dureza superficial do concreto endurecido. Na área de ensaio são demarcados de 9 a 16 pontos de impacto, uniformemente distribuídos, com afastamento de 30 mm entre os seus centros. O esclerômetro fornece o índice esclerométrico da superfície testada que apresenta uma boa correlação com a resistência à compressão axial do concreto endurecido (ABNT NBR 7584:2013).

De acordo com Lorenzi et al. (2017), o ensaio de propagação de pulsos de ultrassom, é realizado com aparelho que emite ondas ultrassônicas longitudinais que propagam pela secção do elemento estrutural ensaiado. O tempo de propagação dos pulsos ultrassônicos é monitorado e comparado com parâmetros de qualidade. A presença de vazios de concretagem, fissuras e porosidade excessiva na região de teste do elemento estrutural, afetam o tempo de propagação dos pulsos ultrassônicos. Esse ensaio, normalizado pela

ABNT NBR 8802:2019, permite identificar e avaliar imperfeições de concretagem, profundidade de fissuras e a resistência do concreto à compressão.

O ensaio de potencial de corrosão é realizado com um eletrodo de referência, constituído por cobre e sulfato de cobre e com um voltímetro de alta impedância. O voltímetro mede a diferença de potencial elétrico entre dois pontos da superfície do elemento estrutural ensaiado, um em contato com o eletrodo de referência de cobre e o outro em contato com o sistema armadura e concreto da estrutura. São realizadas várias medições em uma área de teste e comparados os valores obtidos com um valor de referência (-200 mV). Valores medidos, inferiores a - 200 mV, indicam a ocorrência de corrosão nas armaduras (HELENE, et al., 2018).

O ensaio de verificação da existência e da extensão da carbonatação em elementos estruturais de concreto é realizado mediante a aspersão de indicadores químicos e colorimétricos na área de teste recém-exposta do concreto. O indicador químico utilizado no ensaio é uma solução aquosa-alcoólica de fenolftaleína a 1%, aplicada na superfície de teste, por meio de um spray. A fenolftaleína na presença de um meio fortemente alcalino apresenta a coloração característica róseo-avermelhada e, em contato com um meio de baixa alcalinidade, que ocorre no concreto carbonatado, permanece incolor (HELENE et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A análise das manifestações patológicas ocorridas em alguns dos pilares da edificação residencial unifamiliar, que se encontra inacabada e inabitada, foi desenvolvida por meio de um estudo de caso.

O método de estudo de caso permite observar e compreender, em profundidade, um determinado fenômeno da realidade por meio da observação e do levantamento de dados que serão analisados. Com um estudo de caso, o objeto de estudo é descrito rigorosamente por meio de relações de causa e efeito com a proposição de ações de intervenção com maiores possibilidades de acerto quanto aos resultados esperados (ALMEIDA, 2011).

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre patologias em estruturas de concreto armado e procedimentos utilizados na elaboração do diagnóstico.

Com a visita in loco foi realizada a inspeção visual da edificação e aplicado o ensaio não destrutivo com fenolftaleína para verificar a carbonatação do concreto dos pilares acometidos por fissuras e trincas.

Na inspeção visual dos pilares foram utilizados instrumentos de medição (régua metálica, trena e paquímetro) e uma lupa para coletar as medidas relativas às dimensões geométricas dos pilares, do diâmetro das barras de aço das armaduras e da espessura da camada de cobrimento das armaduras dos pilares.

As dimensões geométricas da seção transversal dos pilares foram medidas ao longo de seus comprimentos para verificar a sua uniformidade. As medições da espessura da camada de cobrimento das armaduras e dos diâmetros das barras de aço longitudinais das armaduras foram realizadas nos trechos dos pilares onde ocorreram destacamentos com exposição de partes das armaduras.

O ensaio não destrutivo de carbonatação do concreto dos pilares foi realizado com solução de fenolftaleína a 1,0%, conforme indicado por Helene et al. (2018). A solução de fenolftaleína é uma substância incolor que adquire cor rósea-avermelhada na presença de um meio de alta alcalinidade e permanece incolor em contato com um meio de baixa alcalinidade.

Os dois pilares mais danificados com trincas e deslocamentos, identificados na inspeção visual, foram ensaiados com a solução de fenolftaleína. A solução foi borrifada com spray em regiões dos pilares, recém-expostas, localizadas nos trechos deslocados onde era possível verificar a profundidade da carbonatação.

Na visita in loco, foram realizadas fotos dos dois pilares mais danificados para registro dos dados coletados por meio da inspeção visual e do ensaio de carbonatação com fenolftaleína.

Foi conseguido, junto ao proprietário da edificação, o acesso aos projetos arquitetônico e estrutural. A análise do projeto arquitetônico permitiu obter as medidas das dimensões da laje apoiada nos pilares. No projeto estrutural, foram verificadas as dimensões da seção transversal dos pilares e as dimensões das barras de aço e do cobrimento das armaduras dos pilares.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A edificação residencial que se encontra inacabada e inabitada há mais de 20 anos, encontra-se na cidade de Varginha, MG. A edificação possui uma laje com área de 51 m², apoiada em nove pilares com iguais dimensões de 20 cm x 20 cm x 280 cm.

A laje apresenta a sua superfície superior exposta à ação dos agentes agressivos do ambiente, sujeita a ciclos de umedecimento e secagem no decorrer do tempo. As vigas e a superfície inferior da laje não receberam revestimento.

Alguns pilares apresentam falhas de concretagem, verificadas na inspeção visual de suas superfícies, formando pequenos nichos ou vazios pelos quais os agentes agressivos do ambiente alcançaram as suas armaduras.

Dos nove pilares de apoio da laje, os dois de canto indicados na figura 1 a seguir, por P1 e P2, eram os mais sintomáticos e foram avaliados mais detalhadamente para a determinação do tipo, da origem e do mecanismo de desenvolvimento das manifestações patológicas ocorridas.

Figura 1: Estrutura da edificação com os pilares mais danificados, P1 e P2.



Fonte: próprio autor, 2023.

Os pilares, P1 e P2, foram inspecionados visualmente e fotografados nas regiões de suas superfícies mais danificadas, conforme mostrado na figura 2 abaixo. Durante a inspeção visual dos pilares, foi utilizada uma lupa para melhor observação dos pequenos nichos de concretagem existentes nas faces dos pilares.

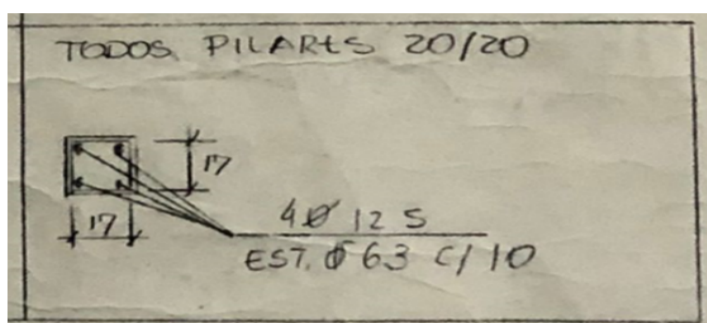
Figura 2: Pilares com deslocamentos de concreto nas suas arestas.



Fonte: próprio autor, 2023.

O proprietário da edificação foi contatado para obtenção de autorização e acesso aos projetos arquitetônico e estrutural da edificação. Após análise dos projetos, foi realizada foto da parte do projeto estrutural onde constam as dimensões e especificações dos pilares da edificação, mostrada na figura abaixo.

Figura 3: Foto de parte do projeto estrutural da edificação



Fonte: próprio autor, 2023.

Pela análise do projeto estrutural verificou-se que cada pilar foi dimensionado com 20 cm x 20 cm depois de acabado, contendo 4 barras de aço com 12,5 mm de diâmetro dispostas

a 17 mm de distância uma da outra com os estribos de aço, de 6,3 mm de diâmetro, espaçados a cada 10 cm. Em projeto, a camada de cobertura da armadura teria espessura de 15 mm.

Foram realizadas medições manuais com trena e régua, nos dois pilares, para verificação de suas dimensões geométricas e da espessura da camada de cobrimento. Os dois pilares apresentaram 20 cm x 20 cm nas dimensões geométricas das secções transversais. As espessuras das camadas de cobrimento das armaduras, apresentaram medidas com 13 mm (P2) e 15 mm (P1).

Figura 4: Medição da espessura da camada de cobrimento dos pilares, P1 e P2.



Fonte: próprio autor, 2023.

No pilar P1, que apresenta deslocamento do concreto com uma parte de sua armadura exposta, foi realizada a medição do diâmetro da barra da armadura com um paquímetro, e encontrado o diâmetro de 12,7 mm. Foi verificado, por inspeção visual, que a armadura desse pilar apresenta uma formação escura superficial que se estende por toda a extensão das barras.

Foi verificado na inspeção visual dos pilares que o pilar P1 apresenta algumas regiões, próximas aos trechos com armaduras descobertas, com uma leve coloração avermelhada na sua superfície.

Figura 5: Medição da secção transversal da barra da armadura com evidências de corrosão.



Fonte: próprio autor, 2023.

Foi realizado o ensaio para a verificação da ocorrência de carbonatação no concreto dos dois pilares, P1 e P2, com a utilização de solução de fenolftaleína a 1,0 %. Com a utilização de um spray, as áreas de testes dos dois pilares, recém expostas, foram arpergidas com a solução de fenolftaleína.

A aplicação de fenolftaleína nas regiões dos pilares, P1 e P2, onde ocorreram os deslocamentos, com partes expostas das armaduras, apresentou-se com aspecto incolor até a profundidade das armaduras, de 15 mm a 30 mm.

Os projetos, arquitetônico e estrutural, da edificação datam de abril do ano de 2000, mesmo ano em que a obra foi iniciada e, meses depois, interrompida. A estrutura construída da laje com os pilares não foi revestida e permaneceu exposta à ação dos agentes ambientais agressivos à integridade do concreto armado por mais de 22 anos.

A estrutura de concreto da edificação, que se encontra em área urbana, é classificada na classe de agressividade ambiental II quanto ao nível de exposição à ação de agentes deletérios e quanto ao risco de deterioração. De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, à classe II correspondem agressividade ambiental moderada e pequeno risco de deterioração.

No projeto estrutural, a espessura do cobrimento da armadura dos pilares foi definida em 15 mm, constata in loco por meio de medição. Tendo em vista a classe de agressividade ambiental II, o cobrimento nominal da armadura dos pilares, definido em projeto, deveria ser, no mínimo 30 mm, para assegurar a cobertura adequada das armaduras, conforme definido pela ABNT NBR 6118:2023.

Foi verificado que os pilares mais deteriorados, P1 e P2, apresentavam pequenos nichos de concretagem em diferentes pontos de suas superfícies por onde os agentes

agressivos ambientais, causadores de patologias no concreto armado, penetraram nos elementos estruturais. Durante a concretagem, é necessária a vibração adequada do concreto para o preenchimento dos recantos das formas evitando a segregação dos materiais constituintes e a formação de nichos (ABNT NBR 14931:2004).

Pelos pequenos nichos de concretagem existentes nas superfícies dos pilares, P1 e P2, ocorreu a carbonatação do concreto. O gás carbônico, presente no ar, penetrou e reagiu com a umidade e com os compostos de hidratação do concreto (hidróxidos de cálcio e de magnésio) provocando a redução da alcalinidade do concreto e a despassivação da camada de proteção da armadura contra a corrosão (SOUZA, RIPPER, 1998).

De acordo com Helene et al. (2018), a carbonatação de estruturas de concreto apresenta velocidade e profundidade que dependem de vários fatores, alguns ligados ao próprio concreto (porosidade e reserva alcalina) e outros relacionados ao clima do local da edificação (umidade relativa do ar, concentração de CO₂ no ambiente, incidência de ciclos de umedecimento e secagens).

Nos pilares, P1 e P2, a existência de nichos de concretagem e a exposição prolongada à ação deletéria dos agentes ambientais, desencadearam a carbonatação do concreto que avançou rapidamente até a profundidade das armaduras através da camada de cobrimento com espessura inadequada.

A carbonatação provocou a redução da alcalinidade do concreto dos pilares, P1 e P2, e a conseqüente despassivação da camada de proteção do aço das barras das armaduras, tornando-se mais suscetíveis à corrosão. Nos dois pilares, foram observadas partes expostas das armaduras com superfícies escurecidas, caracterizando um processo corrosivo já iniciado e generalizado, conforme definido pela ABNT NBR 6118:2023.

É necessário realizar outros ensaios para verificar detalhadamente as condições dos pilares, P1 e P2, quanto à resistência e homogeneidade do concreto e quanto ao grau de corrosão de suas armaduras para a elaboração de um diagnóstico mais preciso.

Com os ensaios de pacometria e de esclerometria, pode-se determinar a localização das armaduras e estimar a resistência à compressão do concreto dos pilares para posterior comparação com o f_{ck} de projeto.

O ensaio de propagação de pulsos ultrassônicos permite avaliar a homogeneidade do concreto e localizar nichos internos de concretagem.

O ensaio de potencial de corrosão do sistema armadura-concreto com eletrodo padrão fornece resultados importantes para a avaliação do grau de corrosão das armaduras dos pilares.

Os ensaios sugeridos devem ser aplicados aos demais pilares da edificação que, mesmo não apresentando sintomas patológicos superficiais detectados por inspeção visual, podem ter sido acometidos pelas patologias de carbonatação do concreto e corrosão de armaduras ocorridas nos pilares, P1 e P2, da edificação.

Com o diagnóstico mais preciso acerca das condições em que se encontram os pilares da edificação, a definição da conduta a ser adotada terá maior probabilidade de êxito levando em consideração os aspectos técnicos, econômicos e de segurança.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estruturas de concreto armado são muito comuns em edificações e, assim como os demais materiais, o concreto armado está sujeito aos mecanismos de envelhecimento e deterioração, capazes de comprometer a sua resistência, servicibilidade e durabilidade.

Vários fatores podem desencadear manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Existem causas patológicas relacionadas a falhas de projeto e executivas, causas relativas à qualidade dos materiais utilizados e causas decorrentes da interação do concreto com os agentes do meio ambiente.

A ocorrência de patologias em elementos estruturais de concreto armado não deve ser negligenciada, pois pode evoluir para quadros mais graves que comprometem a estabilidade da edificação e colocando em risco a segurança das pessoas.

Nesse trabalho, que teve por objetivo avaliar as patologias ocorridas nos pilares de uma edificação residencial, foram levantadas informações relevantes através de análise nos documentos dos projetos arquitetônico e estrutural e por meio de visitas in loco.

Com a inspeção visual dos pilares e a aplicação do ensaio de carbonatação do concreto foi elaborado o diagnóstico preliminar do problema patológico ocorrido nos pilares com maiores danos

A espessura da camada de cobertura dos pilares, definida em projeto e medida in loco, ficou menor que a recomendada pela ABNT NBR 6118:2023 tendo em vista a classe agressividade ambiental de exposição da estrutura.

Ocorreram falhas na concretagem dos pilares que originaram pequenos nichos de concretagem nas suas superfícies. Esses nichos facilitaram a contaminação do concreto pela ação deletéria dos agentes ambientais que desencadearam o processo de carbonatação do concreto. O cobrimento insuficiente das armaduras, com uma camada de menor espessura que a prevista, acelerou a progressão da carbonatação do concreto até a profundidade das armaduras.

A carbonatação provocou a redução da alcalinidade do concreto e a despassivação da camada de proteção das armaduras que resultou na instalação de um processo corrosivo generalizado. O produto expansivo da corrosão do aço das armaduras originou tensões de tração internas no concreto dos pilares que resultou na fissuração e no deslocamento de partes do concreto junto às quinas dos pilares.

A situação na qual a obra se encontra, há mais de 20 anos, com a sua estrutura sem revestimento e exposta a repetidos ciclos de umedecimento e secagem, contribuiu para acelerar o seu processo de envelhecimento e de deterioração.

Foi sugerido, ao proprietário da edificação, a realização de uma intervenção para reforçar e preservar a integridade dos dois pilares mais danificados pelo método de encamisamento que consiste na fixação de uma armadura de reforço e preenchimento com graute para o cobrimento da armadura complementar.

É necessário realizar outros ensaios nos pilares da edificação para verificar a resistência do concreto e o grau de corrosão das armaduras. Com os resultados de uma avaliação estrutural mais rigorosa será possível diagnosticar com maior precisão a situação de todos os pilares da edificação e propor a conduta mais adequada a ser adotada.

Por fim, é importante salientar que a inspeção regular e as manutenções preventivas são medidas necessárias para garantir a segurança, o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto armado. O cuidado permanente, sob a supervisão de um profissional devidamente qualificado, previne a ocorrência de patologias e reduz os custos dos serviços de manutenção.

ABSTRACT

PATHOLOGIES IN THE CONCRETE PILLARS OF AN INTERRUPTED RESIDENTIAL BUILDING: a case study in the city of Varginha, MG

This article resulted from a case study regarding the pathological manifestations that occurred in the pillars of an interrupted residential building located in the city of Varginha, MG. Reinforced concrete, like other materials, is subject to aging and deterioration processes resulting from its use and its interaction with environmental agents. Design, executive and material flaws in concrete have the potential to cause pathological manifestations in order to compromise the strength, performance and durability of concrete structures. The objective of this work was to evaluate the pathologies that occurred in the pillars of a building that was discontinued more than 20 years ago, in order to prepare a preliminary diagnosis of the situation. To this end, a bibliographical research was carried out on studies, standards and procedures for investigation and diagnosis in reinforced concrete structures. With an in loco view, information was gathered by visual inspection and the concrete carbonation test with 1.0% phenolphthalein solution was applied. It was found, in the most damaged pillars, the insufficient covering of the reinforcements, the presence of small concrete niches and the generalized corrosion of the reinforcements due to the carbonation of the concrete. There was a need to apply other tests on the pillars of the building for the elaboration of a more rigorous diagnosis and definition of the intervention plan.

Keywords: Pathologies; reinforced concrete; non-destructive testing.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Mário de Souza. **Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva**. São Paulo: Atlas, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. NBR 8681. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio** NBR 7584. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. NBR 8802. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento** – NBR 6118. Rio de Janeiro, 2023.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração**, 2011. Disponível em < <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc54.pdf> > Acesso em 10 de março de 2023.

HELENE et. al, Procedimentos, normas e estudos para inspeção, diagnóstico e reforço de estruturas de concreto. *Concreto & Construções*, São Paulo, ed. 91, p. 64-70, jul-set, 2018. Disponível em < <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2018/09/revista91.pdf>> Acesso em 25 de agosto de 2023.

REGINATO, Lucas Alexandre; LORENZI, Alexandre; LORENZI, Luciani Somensi; FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva. **Avaliação de pilares de concreto armado através de ensaios de pulsos ultrassônico**. *Revista de Engenharia Civil IMED*, Passo Fundo, vol.4,n.1,p.32-47,Jan.-Jun.2017-ISSN 2358-6508.

ROMANO, Cezar Augusto. **Tecnologia do concreto**. Disponível em < <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>> Acesso em 12 de março de 2023.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1998.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. 88 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.